

## ABSTRACT

### DE 42 39 319

The method is performed without adding material which must be subsequential removed. The air gap is formed by a gate produced separately from the production of the FET base structure.

A chemically sensitive surface can be optionally added to the gate which is applied to the base structure as a hybrid with an air gap height resulting from the height difference between the channel (6) and field (3) isolators.

USE/Advantage - For producing SGFET with freely accessible space between gate electrode and channel isolator, e.g. for use in ion concentration analysers. High purity and low surface roughness can be achieved.



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 42 39 319 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
G 01 N 27/414

21 Aktenzeichen: P 42 39 319.1  
22 Anmeldetag: 23. 11. 92  
43 Offenlegungstag: 8. 4. 93

DE 42 39 319 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:

Eisele, Ignaz, Prof. Dr., 8021 Icking, DE; Flietner,  
Bertrand, Dipl.-Phys., 8000 München, DE; Doll,  
Karl-Theodor, Dipl.-Phys., 8201 Großkarolinenfeld,  
DE

72 Erfinder:

gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum spacerfreien, hybriden Aufbau von Luftspalt und Gate von Suspended Gate Feldeffekttransistoren (SGFET) sowie nach dem Verfahren hergestellte Bauelemente

57 Verfahren zum spacerfreien, hybriden Aufbau von Luftspalt und Gate von Suspended Gate Feldeffekttransistoren (SGFET) sowie nach dem Verfahren hergestellte Bauelemente. Der Gateaufbau von Feldeffekttransistoren mit frei hängendem Gate, d. h. mit einem Luftspalt zwischen Gateelektrode bzw. der chemisch sensitiven Schicht und dem Kanalisolator geschieht herkömmlich mittels eines Spacers unter dem Gate, dessen Herausätzen den Luftspalt erzeugt. Dies beeinträchtigt die Oberflächenqualität im Luftspalt und infolgedessen das elektrische Sensorverhalten. Die vorliegende Erfindung beschreibt den spacerfreien hybriden Aufbau von SGFET mit modularen, separat beschichtbaren Gate- und Feldeffektstrukturen. Es werden Justagehilfen und die Arten der mechanischen Fixierung angegeben, dazu ein exemplarischer Aufbau und ein Meßbeispiel.

DE 42 39 319 A 1

Es wird ein Verfahren zum hybriden, spacerfreien Aufbau von Luftspalt und Gate von Suspended Gate Feldeffekttransistoren angegeben. Derartige Bauelemente eignen sich für den Einsatz als Sensoren in der Analyse von Flüssigkeiten (z. B. Bestimmung von Ionenkonzentrationen) und in der Gasanalyse (z. B. für die Schadgasdetektion in der Luftüberwachung). Suspended Gate Feldeffekttransistoren sind in der Gruppe der Chemosensoren ausgezeichnet durch kurze Ansprechzeiten, da ihr Detektionsvermögen in erster Linie auf Oberflächeneffekten beruht.

Bislang wurden zum Aufbau des Luftspaltes von SGFET Spacer auf den Kanalisolator, auf diesen wiederum die Gatestruktur abgeschieden. Der Luftspalt entsteht durch Herausätzen des Spacers. Chemisch sensitive Schichten unter dem Gate werden gemäß einer Bauvariante noch vor dem Gateaufbau als Kanalisolator oder zwischen Spacer und Gate mit eingebaut unter der Einschränkung, daß die Spacerätze die sensitive Schicht nicht angreifen darf. Eine andere Variante sieht eine Beschichtung des freistehenden Gates durch elektrochemische Abscheidung vor.

Die Nachteile der bislang angegebenen Verfahren zum Aufbau von Luftspalt, chemisch sensitiver Schicht und Gate bestehen entweder in der Beschränkung auf diejenigen sensitiven Materialien, die elektrochemisch abscheidbar sind, oder in der geringen Oberflächengüte der Schichten, die durch Herausätzen des Spacers freigelegt werden: Spacer- bzw. Ätzreste beeinträchtigen ihre chemische Reinheit, was die Reproduzierbarkeit der elektrischen Signale in Bezug auf die chemischen Eingangsgrößen stört und Langzeitdriften verursacht. Zudem muß für jeden Einsatz einer neuen sensitiven Schicht der Ätzschritt überprüft und ggf. ein neues Ätzverfahren, das die sensitive Schicht nicht angreift, gefunden werden. Kelvinsondenmessungen an vergleichbaren sensitiven Materialien liefern aus diesen Gründen nicht vergleichbare Ergebnisse und können zur Optimierung dieser Materialien nicht herangezogen werden.

Die Aufgabe besteht im Aufbau eines Systems Luftspalt/selektive Schicht/Gate über dem Kanalisolator einer Isolator-Halbleiter-Feldeffektstruktur mit den Möglichkeiten einer hohen Reinheit und geringen Rauigkeit der Grenzfläche selektiver Schicht – Luftspalt unter der Beibehaltung der Auswahl chemisch selektiver Materialien, wie sie die Schichteinbauvariante gestattet.

Zur Erläuterung der nachstehend beschriebenen Lösung werden vier Figuren als Ausführungsbeispiele gezeigt:

**Fig. 1** Positionierung (1. ISFET -Struktur; 2. Gate-Struktur; 3. Feldisolation; 4. Metallisierung, 5. Source und Draingebiete, 6. Kanalisolator, 7. Kanalgebiet, 8. Sensitive Schicht, 9. Gatemetallisierung, 10. Auflagerichtung);

**Fig. 2** Luftspalt/Ausschnitt (11. Diffusionskanal, 12. Luftspalthöhe, 13. Auflage von sens. Schicht direkt auf Feldisolator);

**Fig. 3** Befestigung/ Luftspalthöhe (14. Gehäuseboden, 15. Luftspalt, 16. Partikel, 17. Federbügel);

**Fig. 4** Befestigung/Luftspalthöhe (18. Luftspalt, 19. Distanzstücke, 20. Klebestelle, 21. Kapillarsperre).

Der Aufbau geht erfindungsgemäß aus von einer Isolator-Feldeffektstruktur ohne Gate, wie sie z. B. der ISFET (1) darstellt. Zu dieser passend wird separat eine Gatestruktur (2) aus einem leitendem Material herge-

stellt, z. B. aus hochdotierten Si-Wafern. Seine Formgebung wird so gewählt, daß bei Auflage auf die Feldeffektstruktur der Kanalbereich (6, 7) ohne Kontakt zu den Metallisierungen (4) der Feldeffektstruktur überdeckt werden kann. Umgekehrt kann auch die Feldeffektstruktur für die Auflage auf ein, dann einfach gestaltetes Gate konstruiert werden. Die später dem Luftspalt (12, 15, 18) zugewandte Seite des Gates benötigt eine niedrige Oberflächenrauigkeit. Hierauf können, wenn das Gatematerial nicht selbst als sensitiv gewählt ist, sensitive Materialien durch Methoden wie elektrochemische Abscheidung, Sputtern, reaktives Sputtern, Aufdampfen, Aufschleudern, Sublimation, Epitaxie, Aufsprühen abgeschieden werden (8). Die Gaterückseite wird für eine spätere elektrische Kontaktierung vorbereitet, im Falle eines Si-Gates für den Bondschritt metallisiert (9).

Das vorgefertigte Gate wird nun auf den Isolator der Feldeffektstruktur gelegt und so verschoben, daß es den Kanalbereich (6, 7) vollständig überdeckt. In einem Spitzenmanipulatorplatz kann diese Justage erleichtert vorgenommen werden. Eine elektrische Messung der Kapazität zwischen Gate und dem Kanalgebiet (Steilheitsmessung) (2, 7) erhöht die Genauigkeit einer optischen Kontrolle der vollständigen Kanalüberdeckung. Vergrößert man die Kanalüberdeckung über das kapazitiv bestimmte Optimum hinaus, so verursacht dies verlängerte Ansprechzeiten des hybriden Feldeffektbauelementes. Übermäßige Kanalüberdeckungen wirken wie Diffusionskanäle (11) zwischen den umgebenden Medien und dem eigentlichen Luftspaltraum selbst. Mit Positionierung und Formgebung des Gates kann also das Ansprechverhalten des hybriden Bauelementes gesteuert werden. So wirken vertikale Öffnungen oder Ränder in der Gate- oder der Feldeffektstruktur, die der Topografie des Kanals angepaßt sind, im Sinne kürzerer Ansprechzeiten.

Aus der Kapazitätsmessung läßt sich weiterhin durch Quotientenbildung mit den Werten, die man von einer identisch aufgebauten Struktur mit MOS-Metallisierung erhält, die Luftspalthöhe ermitteln. Dies ermöglicht die Kontrolle, ob sich Verunreinigungen zwischen den Auflageflächen befinden. Vergrößerte Luftspalthöhen führen zu verkleinerten Einkopplungsfaktoren der gateseitigen Sensoreffekte in den elektrischen Gesamtstrom des hybriden Bauelementes. Die minimal erreichbare Luftspalthöhe wird durch die Höhendifferenz von Kanal- und Feldisolatoren vorgegeben (12). Darüber hinaus einstellbar wird die Spalthöhe, indem Distanzkörper (19) an den Auflageflächen von Gate oder Feldeffektstruktur aufgebracht werden. Auch lose haftende Partikel (16) können diesen Zweck erfüllen. So genügt es, z. B. bei einem Si-Gate, Partikel, die vom Brechvorgang her an den Oberflächen haften, durch Reinigungs- oder Ätzschritte auf maximale Größen einzustellen.

Der hybride Gateaufbau wird bezüglich der Feldeffektstruktur dauerhaft fixiert, entweder durch mechanisches Klemmen des Gesamtaufbaus z. B. auf einem Header mit einer metallischen Feder (17), die dann zweckmäßigerweise auch zur Gatekontaktierung dienen kann, oder durch anodisches Bonden von dafür geeignet ausgeführten Auflagegebieten, oder durch Kleben (20) an einer Auflagefläche. Diese sollte, da der Luftspalt eine hohe Kapillarwirkung besitzt, von der Kanalregion durch geeignete weite Zwischenräume (21) derart abgesetzt sein, daß keine Kleberkomponente in den Luftspalt gelangt.

Die Vorteile des angegebenen Verfahrens liegen in

der verbesserten Reproduzierbarkeit der Signale des Hybridsensors und ihrer erhöhten Stabilität bezüglich der Nullpunktdrift. Die im elektrischen Sensorsignal detektierten Austrittsarbeitsdifferenzen von selektiver Schicht und Kanalisolator entsprechen den Werten, die aus Kelvinsondenmessungen erhalten werden. Korrekturen sind anzusetzen mit dem Parameter der unterschiedlichen Luftspalthöhen ( 0,5–2  $\mu$  zu 200–500  $\mu$ ) der beiden Meßverfahren. Weiter kann für den Aufbau des hybriden SGFET auf marktverfügbare ISFET als Basisstruktur zurückgegriffen werden. Zusammen mit einem Satz unterschiedlich beschichteter Gates ergibt sich ein modulares Baukastensystem von hybriden Sensoren, die im Hinblick auf differenzierte Anwendungen spezifizierbar sind. Der technologische Aufwand reduziert sich gleichzeitig auf die Ebene von Aufbau- und Verbindungstechnik. Dies begünstigt auch die wirtschaftliche Produktion von kleinen und mittleren Sensorstückzahlen.

#### Beispiel

Auf einen  $n^+$ -dotierten Si-Wafer wurde Ti/W als Haftvermittler gesputtert, darüber Pt als selektive Schicht. Die Rückseite wurde mit Al bedampft. Daraus wurde ein Gate von ca. 800  $\times$  1200  $\mu$ m Größe gebrochen, von Bruchpartikeln gereinigt und über dem Kanal eines ISFET-Chips mit  $\text{Si}_3\text{N}_4$  als Isolator fixiert. Die Luftspalthöhe betrug bei kapazitiver Messung 1,5  $\mu$ m. Der Sensor wurde in einem Gasmeßplatz mit einer Kelvinsonde mit  $\text{Si}_3\text{N}_4$  und identischem platiniierten Gate als selektive Schichten in Reihe geschaltet. Die Messung in Fig. 5 zeigt die Änderung der Austrittsarbeiten des Systems Pt- $\text{Si}_3\text{N}_4$  von Kelvinsonde und hybridem SGFET bei Raumtemperatur und einem Durchfluß von synthetischer Luft, in die  $\text{H}_2$  in den Konzentrationen von 100 ppm und, in Stufen, 250 ppm beigemischt wurde.

Fig. 5 Änderung von  $\Delta\Phi$  als Reaktion auf Wasserstoff in Synthetischer Luft (1.  $\Delta\Phi$  in V/Skt.; 2.  $\text{H}_2$  in 100 ppm/Skt.; 3. Zeit in 30 min/Skt. 4. Signal Kelvinsonde; 5.  $\text{H}_2$ -Konzentration; 6. Signal Hybrider SGFET.)

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Feldeffekttransistors mit einem frei zugänglichen Raum zwischen Gateelektrode und Kanalisolator mit den Bezeichnungen Luftspalt für den Raum und Suspended Gate Field Effekt Transistor (SGFET) für den Gesamtaufbau, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Herstellung des Raumes additiv und spacerfrei, d. h. ohne Auftrag von Material, das wieder entfernt wird oder sich verflüchtigt, durchgeführt wird.
2. Verfahren nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftspalt durch ein Gate ausgebildet wird, welches von der Herstellung der Feldeffektgrundstruktur abgetrennt, und optional mit einer chemisch sensitiven Oberfläche versehen, aufgebaut wird und hybrid über der Grundstruktur aufgebracht wird mit einer Luftspalthöhe, die sich aus der Höhendifferenz von Kanal- und Feldisolatoren ergeben.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftspalthöhe zwischen Gatestruktur und Feldeffektstruktur beeinflußt wird durch Partikel zwischen den mechanischen Kontakten.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftspalthöhe durch eine Gestaltung der Kontaktpunkte bzw. -flächen zwischen Gatestruktur und Feldeffektstruktur in Form von Distanzhaltern oder -beschichtungen auf Gate- oder Feldeffektstruktur beeinflußt wird.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gas- oder Flüssigkeitsaustauschzeiten zwischen Umgebung und dem Luftspaltraum verkürzt werden durch Öffnungen oder vertikale Luftspaltaufweitungen in der Gate- oder Feldeffektstruktur.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine elektrische Messung als Justierhilfe für die Gateposition über der Kanalregion der Feldeffektstruktur und als Kontrolle der Luftspalthöhe.

7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine Fixierung von Gatestruktur und Feldeffektstruktur zueinander mittels mechanischem Druck.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine mechanische Fixierung von Gate- und Feldeffektstruktur zueinander durch Kleben.

9. Verfahren nach dem Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß an einer Auflagefläche geklebt wird, die von der Kanalregion durch eine Spalterweiterung (Kapillarerweiterung) abgesetzt ist, wodurch ein Übertreten von Klebstoffkomponenten in den Luftspalt vermieden wird.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine mechanische Fixierung von Gatestruktur und Feldeffektstruktur zueinander mittels anodischem Bonden der Auflagegebiete erfolgt.

11. Hybride SGFET-Bauelemente, hergestellt nach einem der Verfahren aus den Ansprüchen 1 bis 10.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

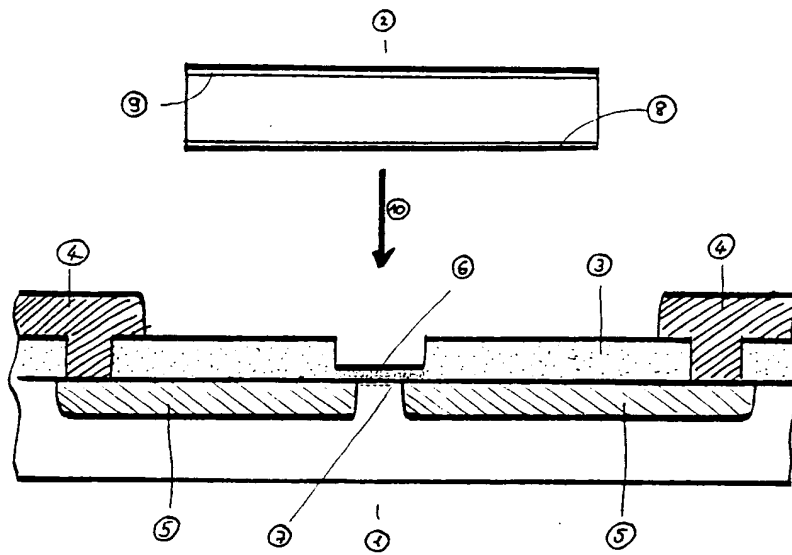


Fig. 1

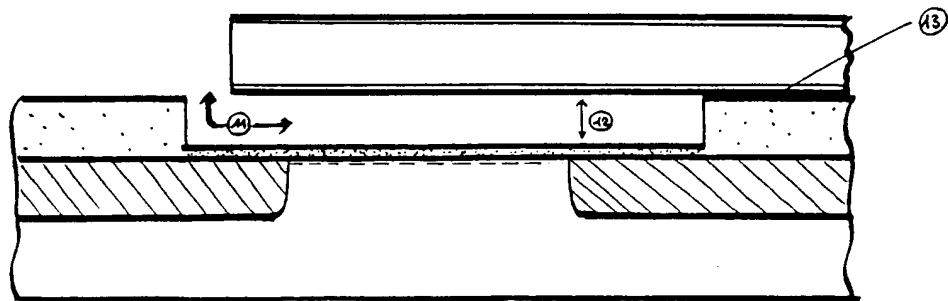


Fig. 2

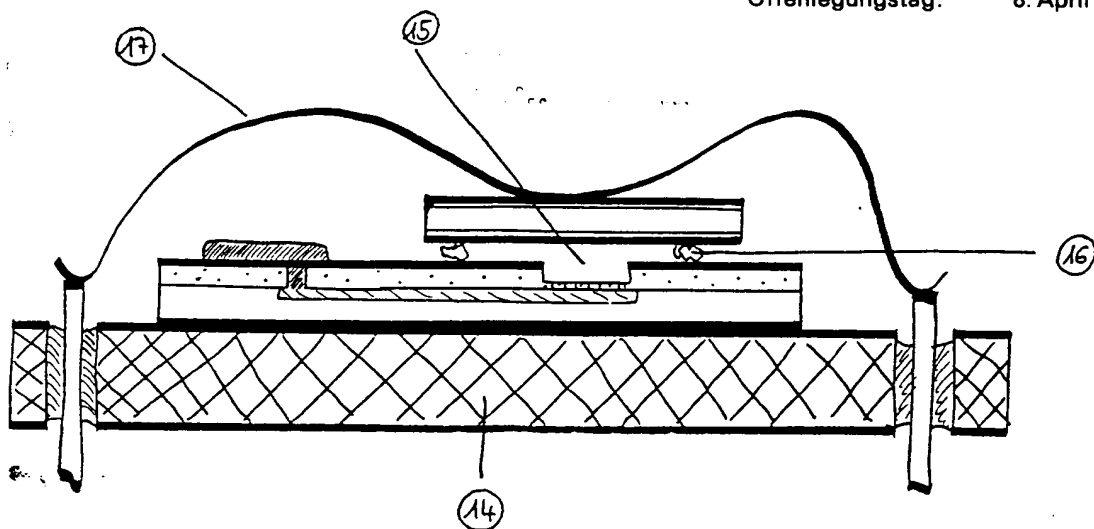


Fig. 3

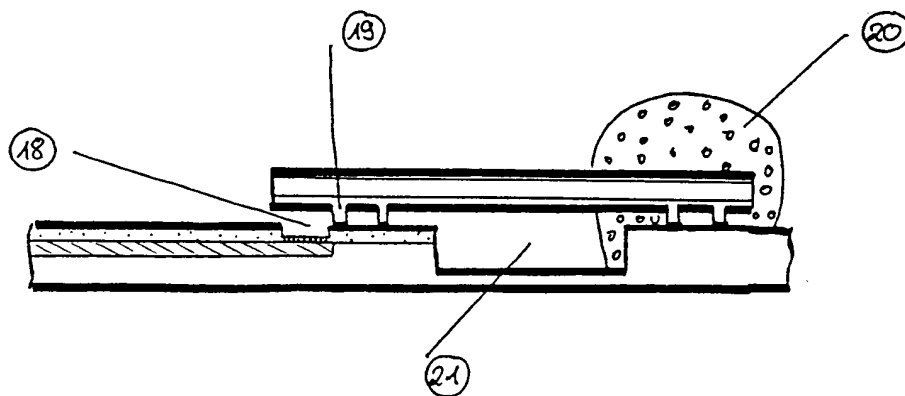


Fig. 4

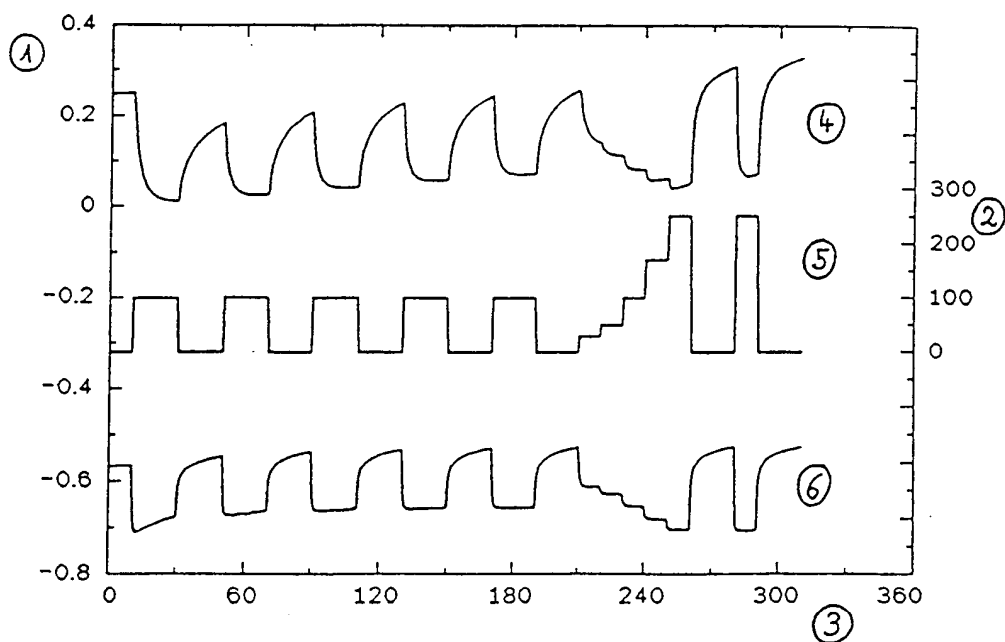


Fig. 5